



УДК 004.938: 006.8

## ВЕРИФИКАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**С.М. ЧУДИНОВ<sup>1</sup>**  
**М.А. КОЛЕСНИКОВ<sup>1</sup>**  
**И.В. ЗУЕВ<sup>2</sup>**

В рамках интеграции высокоуровневых ресурсов в распределённой вычислительной среде для решения научных и инженерных задач предлагаются научные решения по проектированию вычислительных систем с использованием верификации аппаратно-программного комплекса с целью обеспечения целостности сигналов при проектировании.

<sup>1)</sup> «НИИ супер ЭВМ»  
<sup>2)</sup> «НИИ ВК»

Ключевые слова: целостность сигналов, аппаратно-программный комплекс, верификация, вычислительные системы.

**e-mail:**  
**chud35@yandex.ru**  
**mikekolesnikov@mail.ru**  
**mpolejaev@rktelecom.ru**

В настоящее время технические и эксплуатационные характеристики высокопроизводительных вычислительных систем во многом определяются конструкцией межсхемных соединений и технологией их получения. Необходимость максимального использования скоростных свойств логических элементов субнаносекундного диапазона, вынуждает разработчиков постоянно совершенствовать методы автоматизированного проектирования и оптимизации построения вычислительных средств для обеспечения целостности и высоких характеристик передаваемых сигналов. Резервы в этом направлении заложены в развитии технологии виртуального математического моделирования переходных процессов при прохождении сигналов в межсхемных соединениях; учете паразитных характеристик реальных соединений на всех уровнях проектируемого устройства; адаптации системы автоматизированного проектирования с целью повышения точности характеристик проектируемых устройств; практическом подтверждении верности принимаемых решений и умения предсказания реальных характеристик соединений [1].

Одним из направлений в этой области исследований является верификация аппаратно-программного комплекса с использованием микромоделей как распределенная вычислительная среда для исследования целостности сигналов при проектировании вычислительных средств. Базовая технология обеспечения целостности сигналов вычислительных комплексов с верификацией аппаратно-программных средств может быть создана с использованием средств моделирования и анализа переходных процессов в линии передачи информации на уровне многослойных печатных плат (МПП). Задача электронного конструирования межсхемных соединений с прогнозированием надежности информационного обмена между логическими элементами является традиционно сложной для любого разработчика вычислительных систем и может быть решена с использованием математических моделей. При расчете переходных процессов в линиях связи особенно остро встает проблема точности математических моделей, т.к. любая модель основана на ряде физических допущений, а, следовательно, «работает» в ограниченном диапазоне геометрических и электрических характеристик линий передачи. Результаты моделирования достигают десятки процентов. В связи с выше изложенным в работе, предлагается базовая технология моделирования межсхемных соединений в основе, которой лежат три направления использования: 1) Для решения проблемы предлагается использовать ряд простейших микромоделей межсхемных соединений на всех конструктивных уровнях проектируемой электронной системы при дальнейшем синтезе максимальной помехи монтажа на входах логических элементов. В микромоделях наглядно отражается влияние элементов монтажа на общую целостность логических сигналов. 2) Основная идея верификации программно-аппаратного комплекса моделирования (АПКМ) заключается в объединении программного ядра, содержащего алгоритмы моделирования переходных процессов в межсхемных соединениях с измерительным трактом, позволяющим исследовать реальные ос-



циллограммы переходных процессов в линиях передачи с известными геометрическими и электрическими характеристиками, расположенными на ТЕСТ-ПЛАТЕ. Такая технология моделирования позволяет оценить точность расчета переходных процессов в межсхемных соединениях, настроить параметры моделей, а, следовательно, повысить надежность прогнозирования информационного обмена. 3) Комплекс моделирования должен обладать высокой производительностью для оперативного принятия решений о корректности моделей. Связка: USB-генератор – ТЕСТ-ПЛАТА – USB-осциллограф – Notebook, а также система мультиплицирования сигналов позволяют исследовать переходные процессы в тест-линиях, как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах с выбором сканируемой линии из графического интерфейса. Таким образом, базовая технология моделирования межсхемных соединений обеспечения ЦС позволяет обеспечить решение вышеуказанных задач исследований, что становится особенно актуальным при проектировании современных вычислительных систем, имеющих оптимальные коммуникационные соединения с высокими техническими характеристиками [2, 3, 4].

Базовая технологии моделирования межсхемных соединений может быть использована в системе автоматизированного проектирования электронных систем и комплексов. Совместно с аппаратно – программным комплексом моделирования (АПКМ) проверяется и контролируется качество и соответствие требуемым параметрам изготовленные образцы многослойных печатных плат. АПКМ может быть полезен также при контроле некоторых типов ячеек, модулей и других электронных устройств. Разработанные на основе указанной технологии моделирования межсхемных соединений программные средства, а также аппаратно-программный комплекс, предназначены, прежде всего, для проектирования средств вычислительной техники, где особенно актуальны решение таких задач, как максимальное использование скоростных свойств логических элементов субнаносекундного диапазона. Также эти средства могут быть использованы в других радиоэлектронных устройствах, где немаловажным является проблема помехозащищенности от влияния коммутирующих цепей, от взаимного влияния проводников металлизации и других элементов монтажа. Предлагаемая технология моделирования межсхемных соединений основана на определенных параметрах модели на основе реальных измерений по максимальному совпадению пролонгированных измеренных переходных процессов. Программная часть комплекса отвечает за моделирование, а аппаратная – за измерение переходных процессов. Достоинством технологии является подход к определению параметров модели и реализация параметров модели по заданному критерию. Основные требования к параметрам технологии моделирования межсхемных соединений в системе автоматизированного проектирования вычислительных систем и комплексов приведены в таблице № 1, погрешность моделирования определяется самой моделью – насколько она в полном объеме отражает основные физические процессы.

Таблица 1

| № п/п | Наименование параметра   | Значение |
|-------|--|----------|
| 1     | Точность измерения (расчета) первичных, электрических характеристик элементов конструкции включая выводы ИС, разъемы, пассивные компоненты и др., %, не хуже | 1-3      |
| 2     | Точность прогнозирования параметров помех отражения и перекрестных помех, %, не хуже   | 3        |
| 3     | Точность прогнозирования параметров помех по питанию, %, не хуже   | 3        |
| 4     | Точность прогнозирования амплитудных и временных потерь в интерфейсных линиях связи, %, не хуже  | 5        |

Применение базовой технологии моделирования межсхемных соединений в системе автоматизированного проектирования вычислительных систем и комплексов обеспечивает более качественное решение ряда технических задач, как повышение скоростных свойств логических элементов субнаносекундного диапазона, другими словами, производительности, помехозащищенности, оптимизации конструкции ячеек, модулей и комплексов. Аппаратно-программный комплекс моделирования представляет собой устрой-

ство, состоящее из несущей конструкции, в состав которой могут входить процессорные модули, в том числе одноплатный компьютер, измерительные приборы и съемный набор тестовых плат эталонных линий передачи

Структурная схема моделирования (АПКМ) межсхемных соединений приведена на рисунке 2, а на рисунке 1 представлен АПКМ в развернутом виде.



Рис. 1. АПКМ в развернутом положении

Неотъемлемой частью АПКМ является микромодули. В микромодулях наглядно отражается влияние элементов монтажа на общую целостность логических сигналов.

Показано, что технология автоматизированного анализа ЦС в многослойных печатных платах – конкурентоспособна, обеспечивает частичное импортозамещение программы HyperLynx компании MentorGraphics.

Указанные АПКМ может быть успешно использован для контроля тепловых процессов в радиоэлектронных средствах произвольной конструкции.

Основная идея использования (верификации) программно-аппаратного комплекса моделирования (АПКМ) заключается в объединении программного ядра, содержащего алгоритмы моделирования тепловых процессов в объеме крейта с измерительным трактом, позволяющим исследовать реальные рельефы температуры с известными геометрическими и электрическими характеристиками, расположенными на ТЕСТ-КРЕЙТЕ. В стандартную процедуру моделирования переходных процессов добавляются две операции: операция контроля точности модели и операция коррекции постоянных коэффициентов математических моделей для конкретной конструкции ячейки (модуля). Такая технология моделирования позволяет оценить точность расчета тепловых характеристик исследуемого объема путем совмещения расчетных и экспериментальных тепловых полей, настроить параметры моделей, а, следовательно, повысить надежность прогнозирования тепловой обстановки активной элементной базы [4].

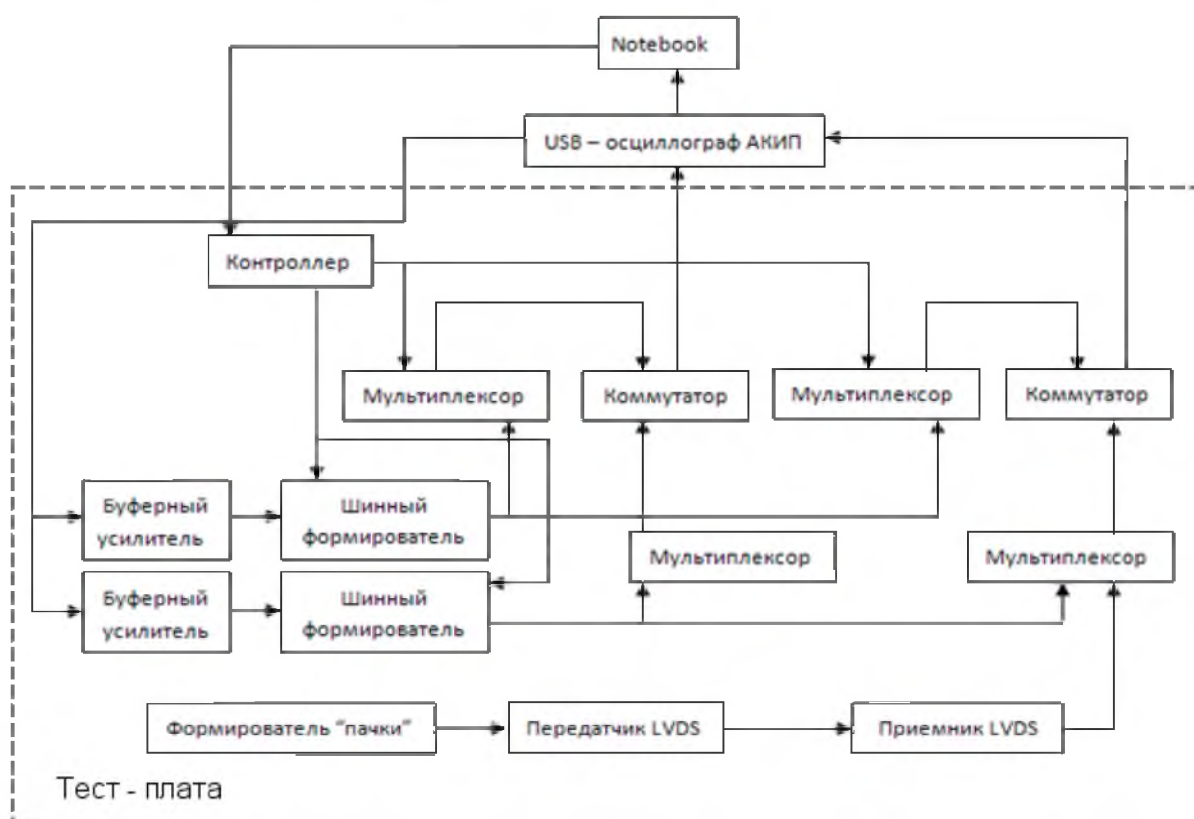


Рис. 2. Структурная схема АПКМ

Для реализации предлагаемой концепции необходимо спроектировать и изготовить тестовый объем (крейт) с имитаторами активных ячеек, где в качестве нагревательных элементов могут быть использованы SMD-резисторы, а в качестве приемника теплового поля может быть использован **сканирующий тепловизор** (рис. 3). Информация о полях распределения температуры может концентрироваться в микроконтроллере и передаваться в Notebook для дальнейшей обработки и представления в 3D пространстве.

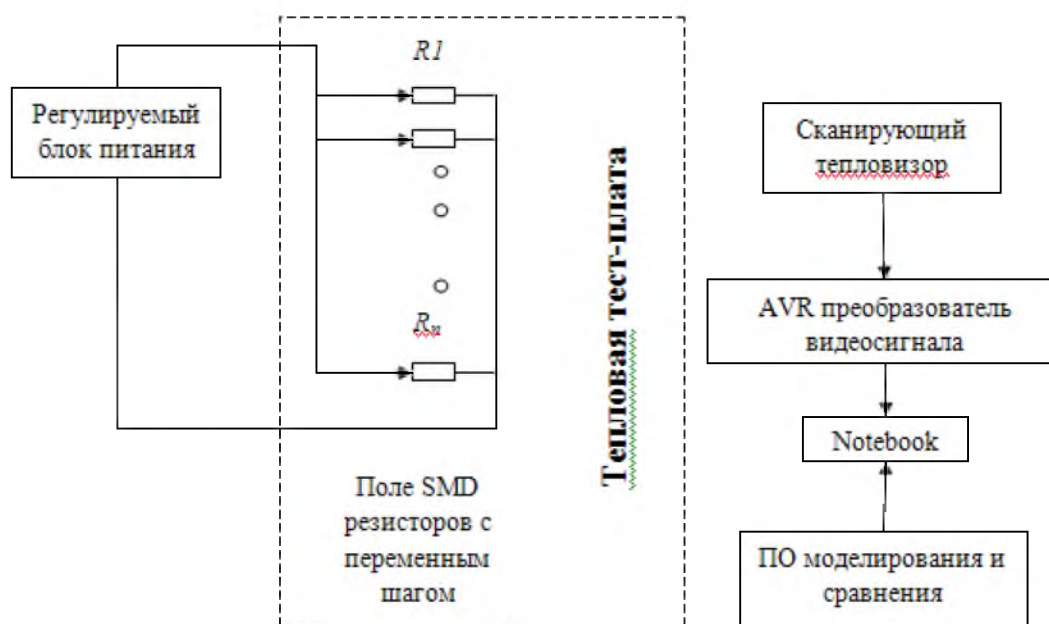


Рис.3. Блок-схема аппаратно-программного комплекса теплового поля ячейки (блока)

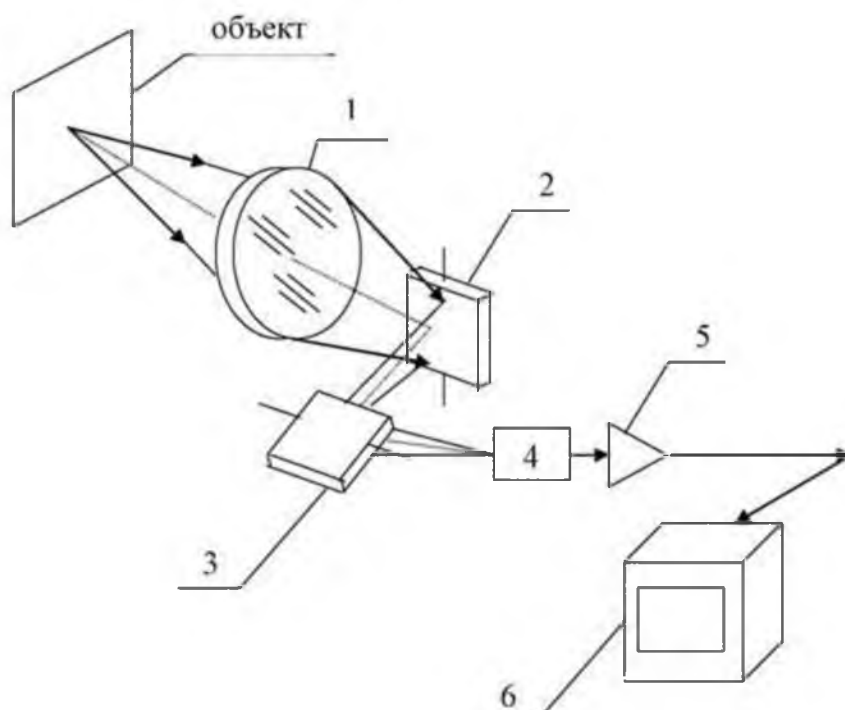


Рис. 4. Функциональная схема тепловизора со сканированием по строкам и кадру:  
1 – объектив; 2 и 3 – сканирующие зеркала; 4 – приемник излучения; 5 – электронный тракт;  
6 – видеоконтрольное устройство

### Выводы

Предложенная верификация АКПМ как инструментальная база моделирования позволяет повысить точность и надежность прогнозирования переходных процессов за счет внедрения двух операций: операция контроля точности модели и операция коррекции постоянных коэффициентов модели для контрольных линий передачи МПП. Предложенная технология моделирования позволяет оценить точность расчета переходных процессов путем совмещения с экспериментальными осциллограммами и контроль параметров модели в пределах 3-х процентов.

### Список литературы

1. Чудинов С.М. Формализация задач электронного проектирования межсхемных соединений при разработке САПР высокопроизводительных ЭВМ/ М.А.Колесников А.А.Черепнев // Белгород БелГУ: Научные Ведомости, № 1 (72), выпуск 13/1 серия системный анализ и управление 2010 г. 101-107 с.
2. М.А. Колесников, М.О. Полежаев, С.М. Чудинов. Аппаратно-программный комплекс моделирования межсхемных соединений высокопроизводительных систем. Вопросы радиоэлектроники 2014 г. Серия ЭВТ вып. 1стр. 53-60
3. Чудинов С.М. Методика проектирования шин электропитания высокопроизводительных ЭВМ/ М.А.Колесников А.А.Черепнев // Белгород БелГУ: Научные Ведомости, № 7 (78), выпуск 14/1 серия системный анализ и управление 2010 г. 142-153 с.
4. Заливин А.Н., Зуев И.В. Использование производственных ПЛИС для обработки изображений. Журнал «Научные ведомости БелГУ» серия Информатика 30/1 стр. 90-94



## VERIFICATION OF HARDWARE AND SOFTWARE TO ENSURE SIGNAL INTEGRITY WHEN DESIGNING COMPUTING SYSTEMS

**S.M. CHUDINOV<sup>1</sup>**  
**M.A. KOLESNIKOV<sup>1</sup>**  
**I.V. ZUEV<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> "NII super computer"  
<sup>2)</sup> "SRI VK"

**e-mail:**  
**chud35@yandex.ru**  
**mikekolesnikov@mail.ru**  
**mpolejaev@rktelecom.ru**

In the framework of the integration of high-level resources in a distributed computing environment for solving scientific and engineering problems is proposed scientific decisions on the design of computing systems using verification of hardware and software to ensure the integrity of the signals in the design.

Keywords: signal integrity, hardware and software, verification, computational systems.